

염료감응형 태양전지 TiO₂ 광전극 표면의 초음파 열처리에 관한 연구

홍 지태¹⁾, 최 진영¹⁾, 서 현웅¹⁾, 김 종락²⁾, 김 희제³⁾

A study of DSC using Ultrasonic and Thermal treatment on nano-crystalline TiO₂ surface

Jitae Hong, Jinyoung Choi, Hyunwoong Seo, JongLak Kim, Heeje Kim

Key words : Dye-sensitized Solar cell, Ultrasonic treatment, Thermal treatment, Ultrasonic circuit, Master oscillator power amplifier, Phase locked loop

Abstract : Recently, there were many researches for efficiency improvement of DSC. Among of these works, research of surface treatment is still a prerequisite for electron diffusion, light-harvesting and surface state of DSC⁴⁾. Using of the surface treatment, it can be raise up porosity of TiO₂ nano-crystalline structure on photo-electrode⁵⁾. There are chemical, physical, electrical and optical methods which raise up its porosity.

In this paper, we have designed and manufactured MOPA-type ultrasonic circuit (100W, frequency and duty variable). Manufactured ultrasonic circuit to use to force cavity density and power into TiO₂ paste. Then, we have optimized forcing time, frequency and duty of ultrasonic irradiation for surface treatment of photo-electrode of DSC. In I-V characteristic test of DSC, ultrasonic and thermal treated DSC shows 19% improved its efficiency against established DSC.

Nomenclature

V_{oc} : open circuit voltage, V
I_{sc} : short circuit current, I
P_{max} : maximum power of DSC, W
ff : fill factor, (P_{max}/V_{oc} × I_{sc})
1.5 AM : light power through air mass (100mW/cm²)
Eff : efficiency of DSC,
(P_{max} / { 1.5 AM × active area })

subscrip

DSC : dye sensitized solar cell
TCO : transparent conductive oxide
PV : photovoltaic : left, right
MOPA : master oscillator power amplifier
PLL : phase locked loop
BLT : bolted langevin type tranducer
PWM : pulse width modulation
MOSFET :MOS field effect transistor

1. 서론

염료감응형 태양전지는 Si계 태양전지가 가지지 못하는 여러 가지 장점을 가지는 태양전지이다¹⁾. 기존의 Si계 태양전지와 비교할 때 기반 재료의 양이 풍부하여 상용화가 될 경우 제조 단가가 기존의 amorphous Si계 태양전지와 비교하여 25%이하로 줄일 수가 있다. 또한 제작 공정이 간단하여 Si계 태양전지와 실 제품의 가격 면에서도 상당한 이점이 있다. 또한 transparency, flexible, 다양한 색상 구현 등은 염료감응형 태양전지 제품의 상용

- 1) 부산대학교 전기공학과 레이저 및 센서 응용 실험실
E-mail : hjt611@yahoo.co.kr
Tel : (051)510-2770 Fax : (051)510-0212
- 2) 한국철도공단 영남본부
E-mail : minseo17@yahoo.co.kr
Tel : (051)510-2770 Fax : (051)510-0212
- 3) 부산대학교 전기공학과 레이저 및 센서 응용 실험실
E-mail : heeje@pusan.ac.kr
Tel : (051)510-2364 Fax : (051)510-0212

화 가능성을 보여준다²⁾.

염료감응형 태양전지는 Si계 태양전지와 동일 출력을 내기 위하여 그 면적이 3~5배정도 커져야 하는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 효율개선을 위한 연구가 여러 방면으로 진행 중이다⁷⁾. 이 중 광전극의 집광 효과를 높이기 위해 다공질의 나노 입자 구조를 얻어야 하며 이러한 다공질을 높이기 위한 여러 가지 표면 처리방법이 연구되어 왔다¹⁾⁻⁴⁾.

본 논문에서는 염료감응형 태양전지 광전극의 나노 입자 다공성을 높이기 위해 초음파 열처리를 이용한 방법을 소개 하였으며 실제 초음파 회로를 설계 하였다. 초음파 열처리를 통하여 기존의 제작 방식에 비해 단위면적 셀(5×5)에서 19% 효율 향상을 보였다.

2. 초음파 회로의 설계 및 실험장치 제작

염료감응형 태양전지의 나노결정 TiO₂ 광전극 표면의 두께 및 표면상태 개선을 위하여 초음파 열처리를 하였으며 다음과 같은 실험장치를 설계 하였다.

2.1 초음파회로의 제작

TiO₂광전극의 초음파 처리를 위하여 그림 1과 같은 초음파 발생 장치를 설계하였다. 초음파 발진자로 BLT를 사용하였으며 100W급 38kHz 초음파 발진회로를 설계하였다. PLL회로부에서 BLT공진자의 공진 주파수를 발생하며 가변전원회로부에서 PWM방식으로 직류전압 0~120V를 생성한다. 파워스위칭 회로부에서는 PLL의 발진주파수와 가변 전원회로의 PWM전원으로 power MOSFET을 구동한다.

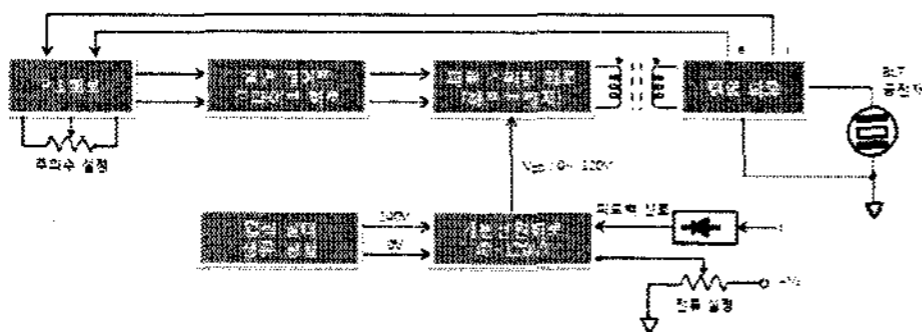


그림 1. MOPA 방식의 BLT발진자 초음파 회로

2.2 실험장치의 제작

그림 2에는 염료감응형 태양전지의 광전극 초음파 열처리를 위한 실험장치를 나타낸다. BLT공진자에 100W급 38kHz교류 고전압을 인가하여 BLT공진자를 발진시킨다. BLT공진자가 수중부하를 가지게 되므로 임피던스의 변화가 심하기 때문에 전류 값을 피드백 하여 PWM제어와 공진주파수 제어를 동시에 행한다. 그리고 열처리하기 위하여 Hot-Plate (MS300TSD)으로 수온을 조절 하였다.

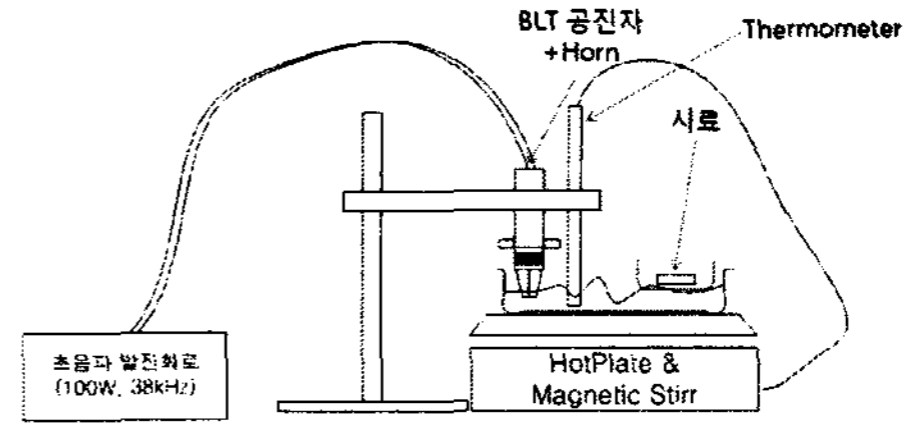


그림 2. 초음파 열처리 실험장치의 구성

3. DSC 태양전지 제작

염료감응형 태양전지의 제조 공정은 기본적인 제조 방법을 이용하였으며, 이 중 광전극의 TiO₂ 프린팅 과정과 고온 소성 과정사이에 TiO₂가 프린트 되어있는 전극을 2.2절의 실험장치를 이용하여 그림 3의 과정으로 각 조건에서의 DSC를 제작하였다.

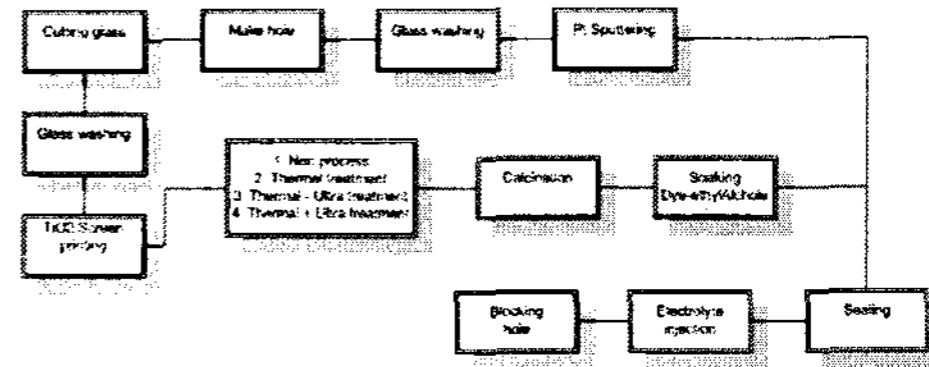


그림 3. 염료감응형 태양전지의 제조 공정

4. 실험 결과

표 1에는 각각의 TiO₂처리 방식에 따른 결과를 나타내었다. 일반적인 셀과 출력 특성을 비교하였을 때 단순한 열처리 과정에서는 P_{max}와 E_{ff}는 평균 2% 효율이 상승하였으며, 초음파 처리 후 P_{max}값과 E_{ff}가 평균 기존의 제작 방식보다 평균 12%정도 좋게 나타났다. 또한, 열처리와 초음파 처리를 동시에 함으로써 P_{max}는 평균 24%, E_{ff}의 경우 평균 19%정도 효율 향상을 보였다. 또한 ff가 일반 제조 방식에 비하여 6%정도 향상 되었다. 표 1에서 알 수 있듯이 열처리의 경우 75℃에서 30분간 대기 중에 방치 하였을 경우 가장 높은 효율을 얻었고 초음파 처리의 경우 20분간 처리 하였을 때 높게 나타났으며 초음파 열처리의 경우 30분간 처리하였을 때 가장 높게 나타났다.

그림 4는 표 1에서 각 조건에서의 최적 조건을 가지는 DSC의 1.5AM조도에서 I-V특성 곡선을 나타낸 것이다. 일반적으로 제작되어진 셀에 비하여 초음파 열처리의 경우 I_{sc}가 30%정도 개선됨을 알 수 있다.

표 1 각각의 조건에서 제작되어진 DSC의 효율 분석

	treated time (min)	Pmax (mW)	Efficiency (%)	Fill Factor (%)
non	non	0.914	3.66	70
Thermal (75°C)	10	0.934	3.73	69.4
	20	0.932	3.75	71.1
	30	0.941	3.76	71.7
	40	0.915	3.68	69.7
Ultrasonic (25°C)	10	1.01	4.1	69.8
	20	1.04	4.18	70.6
	30	1.04	4.15	71.3
	40	1.03	4.02	71.2
ultra-Therma (75°C, 40kHz)	10	1.11	4.07	72.3
	20	1.13	4.11	74.6
	30	1.18	4.71	73.4
	40	1.14	4.51	73.1

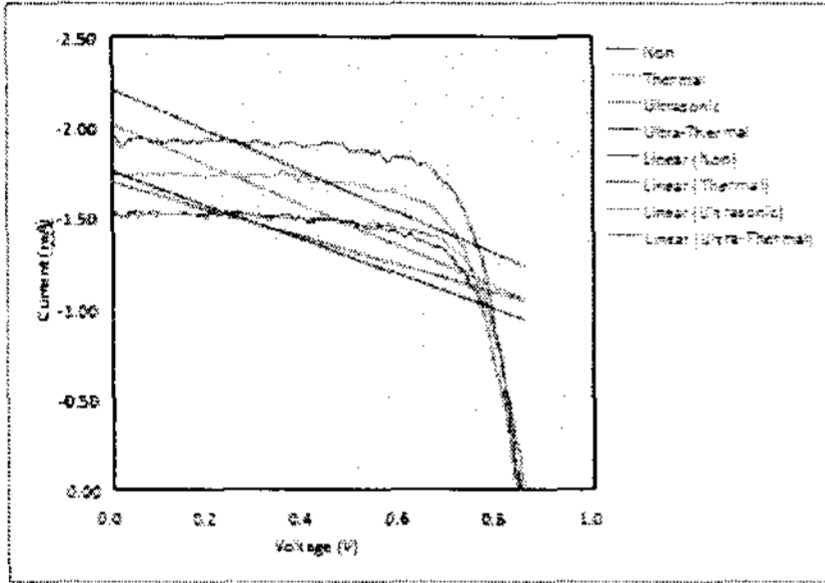


그림 4. 각 조건에서 최적화된 DSC의 I-V 특성 곡선

그림 5는 일반적으로 제작되어진 DSC와 열처리를 한 DSC의 SEM 사진을 비교한 것이다. (a)의 경우는 일반 방식으로 제작되어진 DSC셀로 초음파를 상온에서 제작한 셀과 거의 비슷한 특성을 가진다. (b)의 경우 75°C의 열을 가하여 제작되어진 DSC로 초음파열처리를 한 DSC와 동일한 특성을 가진다. 그림에서 알 수 있듯이 표면상태의 crack이 줄어들음 알 수 있다.

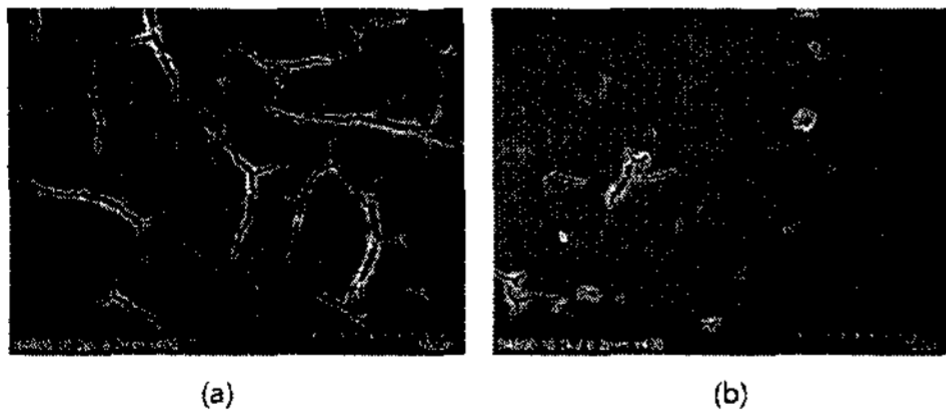


그림 5. 열처리 전(a)와 75°C 열처리 후(b)의 SEM 사진 비교

5. 결론

그림 5는 DSC에서 빛을 흡수한 염료입자의 전자가 이동할 수 있는 이동경로와 전해질의 산화환원 과정을 나타낸다. 기본적으로 전자는 광전극을 통하여 부하에 에너지를 전달하고 상대전극으로 주입되어 전해질의 산화환원반응에 참여하게 되지만 일부의 전자들은 τ_{dt} 과정 즉, 재결합 과정에 참여하게 된다. 재결합이 높게 나타나는 원인은 전극의 두께가 두꺼워져 TiO₂ 입자로 주입

된 전자가 주위의 전해질로 전자를 뺏기게 될 확률이 높아지거나, TiO₂ 전극 표면의 crack현상으로 crack부분에 전해질이 침투하여 TiO₂ 나노결정 구조가 전극으로써의 역할을 제대로 하지 못하는 것을 예로 들 수 있다.

일반적인 Doctor blade기법을 이용하여 나노입자 TiO₂를 광전극에 프린팅 할 경우 colloid형의 paste를 이용하고 고온의 소성과정을 필요로 한다. 이러한 경우에는 TiO₂ 나노결정의 두께의 불균일성과 고온으로 인한 전극 표면의 crack현상이 발생하게 되며, 이는 다시 말해 재결합 확률이 높아짐을 나타낸다.

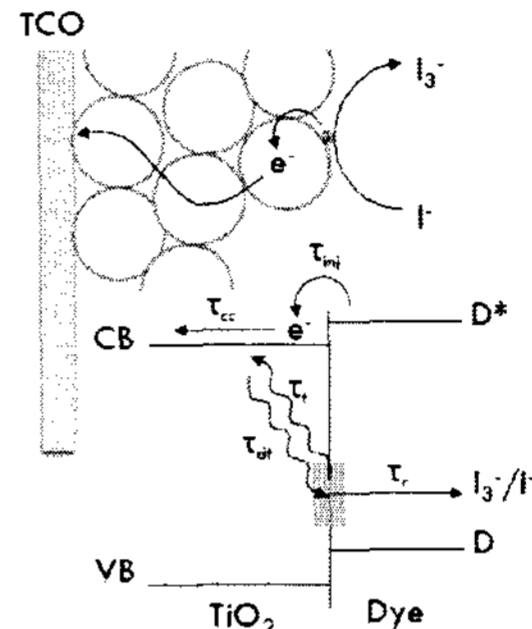


그림 6. 염료에서 여기된 전자의 이동경로

본 논문에서는 Doctor blade기법을 이용한 DSC 제작 시 생길 수 있는 재결합 현상을 줄이기 위하여 초음파 열처리를 하였으며, 기존의 방식에 비해 19% 정도 효율이 상승하였다. 또한 SEM사진을 통하여 열처리 시 TiO₂ 광전극 표면의 crack 현상이 개선됨을 알 수 있었다.

후기

본 연구는 한국과학재단 과제 연구비에 의하여 수행된 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.
과제번호: R01-2004-000-10318-0

References

- [1] C.J. Barbe, F. Arendse, P. Comte, M. Jirousek, F. Lenzmann, V. Shklover, M. Gratzel, J. Am. Ceram. Soc. 80 (1997) 3157-3171.
- [2] D. Zhang, T. Yoshida, K. Furuta, H. Minoura, J. Photochem. Photobiol. A: Chem. 164 (2004) 159-166.
- [3] D. Gutierrez-Tauste et al, Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, Volume 175(2005) 165-171.
- [4] B. O'Regan, M. Gratzel, Nature 353 (1991) 737.
- [5] M. Gratzel, Prog. Photovolt. Res. Appl. 8 (2000) 171.